Mastozoología Neotropical, 32(2):e01152, Mendoza, 2025
Versión on-line ISSN 1666-0536
https://doi.org/10.31687/saremMN.25.32.02.09.e1152

Copyright © SAREM, 2025
http://www.sarem.org.ar
http://www.sbmz.org

Artículo Original

SARNA SARCÓPTICA EN VICUÑAS (*Vicugna vicugna* Molina, 1782) DEL OESTE DE BOLIVIA: ANÁLISIS DE GRAVEDAD DE LA ENFERMEDAD CON INDICADORES ECOLÓGICOS Y EPIDEMIOLÓGICOS

Lucio Fabián Beltrán-Saavedra[1,2], Vanessa Ramos[1,3], Neuza J. Murillo[1,3], Oscar Loayza[1], Laurent Uruño[1,3], José Luis Mollericona[1,2,3] & Robert B. Wallace[1]

[1]Wildlife Conservation Society, Programa de Conservación del Gran Paisaje Madidi. Tambopata (WCS), La Paz, Bolivia. [Correspondencia: L. Fabián Beltrán-Saavedra <fbeltran@wcs.org>]
[2]Wildlife Conservation Society, Wildlife Health Program, New York, USA.
[3]Universidad Pública de El Alto Carrera Medicina Veterinaria y Zootecnia La Paz, Bolivia.

RESUMEN. En Bolivia, la vicuña (*Vicugna vicugna* Molina, 1782) es objeto de manejo para el aprovechamiento de su fibra, a través de la captura y esquila de animales vivos en la naturaleza. La sarna sarcóptica representa una amenaza para los camélidos sudamericanos silvestres. Durante octubre y noviembre de 2018 se capturaron 92 vicuñas nortinas (*V. v. mensalis*), y se obtuvieron biometrías y raspados de lesiones de sarna de tres edades y seis sitios de captura en el área protegida Apolobamba, al oeste de Bolivia. Se obtuvo el índice de condición corporal (ICC), con LogNat de peso * LogNat de longitud interna del miembro posterior derecho. Se obtuvieron los indicadores epidemiológicos prevalencia (%) y porcentaje (%) de extensión de lesiones corporales por sarna. Para evaluar la edad y el sitio de captura en el que la sarna es más grave, se emplearon modelos lineales generalizados con significancia en el modelo completo, de ICC, presencia de sarna, extensión de lesiones corporales por sarna sarcóptica, y sus combinaciones. El ICC empleado en esta especie es una aproximación no destructiva al estado nutricional y de salud de la población de vicuñas evaluadas. La edad es un factor de riesgo relevante, ya que los individuos menores de un año presentaron lesiones cutáneas de sarna sarcóptica más extensas, en comparación con las edades más avanzadas; y las vicuñas de sitios de captura con menor condición corporal también tendían a presentar lesiones cutáneas de sarna sarcóptica más extensas. La combinación de indicadores ecológicos y epidemiológicos permite evaluar la calidad del hábitat y la salud poblacional, y puede integrarse en el monitoreo de vicuñas en vida libre.

ABSTRACT. SARCOPTIC MANGE IN VICUÑAS (*Vicugna vicugna* MOLINA, 1782) FROM WESTERN BOLIVIA: SEVERITY ANALYSIS OF THE DISEASE USING ECOLOGICAL AND EPIDEMIOLOGICAL INDICATORS. In Bolivia, the vicuña (*Vicugna vicugna* Molina, 1782) is managed for the harvest of its fiber, involving the capture and shearing of live animals in the wild. Sarcoptic mange may represent an emerging threat to wild South American camelids. During October and November 2018, 92 northern vicuñas (*V. v. mensalis*) were captured, and biometric data and skin scrapings from mange lesions were collected from three age groups across six capture sites in Apolobamba protected area, western Bolivia. The Body Condition Index (BCI) was calculated using the LogNat of weight * LogNat of the internal length of the right hind limb. Epidemiological indicators such as prevalence (%) and percentage (%) of body lesion extent due to mange

Recibido 21 septiembre 24. Aceptado 12 abril 2025. Editora: Dra. Rosario Robles.

were obtained. To evaluate the age and capture site where mange severity is highest, generalized linear models were employed, with significance in the full model, BCI, the presence of mange, the extent of body lesions caused by sarcoptic mange, and their combinations. The BCI used for this species provides a non-destructive approximation of the nutritional and health status of the evaluated vicuña population. Age was identified as a significant risk factor, with individuals under one year of age exhibiting more extensive sarcoptic mange lesions than older age groups. Vicuñas from capture sites with lower body condition tended to develop sarcoptic mange and exhibited more extensive skin lesions. The combination of ecological and epidemiological indicators enables the assessment of habitat quality and population health and can be integrated into the monitoring of wild vicuña populations.

Palabras clave: Conservación, ecología, epidemiología, *Sarcoptes scabiei*, vicuña.

Key words: Conservation, ecology, epidemiology, *Sarcoptes scabiei*, vicuña.

Citar como: Beltrán-Saavedra, L. F., V. Ramos, N. J. Murillo, O. Loayza, L. Uruño, J. L. Mollericona & R. B. Wallace. 2025. Sarna sarcóptica en vicuñas (*Vicugna vicugna* Molina, 1782) del oeste de Bolivia: Análisis de gravedad de la enfermedad con indicadores ecológicos y epidemiológicos. Mastozoología Neotropical, 32(2):e01052. https://doi.org/10.31687/saremMN.25.32.02.09.e1152

INTRODUCCIÓN

Después de un largo proceso de protección, que continúa hasta la fecha, las poblaciones de vicuñas (*Vicugna vicugna* Molina, 1782) se recuperaron debido a su importancia económica y social para las comunidades andinas, lo cual ha mejorado su categoría de conservación (Villalba 2008).

Desde 1998, en Bolivia, la vicuña está sujeta a un manejo para el aprovechamiento de su fina fibra y, desde 2007, se han establecido los mecanismos para su comercialización, empleando buenas prácticas de bienestar animal y medidas sanitarias para la captura, esquila de animales vivos en estado silvestre y predescerdado de la fibra, en el marco del Programa Nacional para la Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Vicuña, del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), aspecto que contribuye a la conservación de la especie y su hábitat (MMAyA 2021a,b).

De acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), las principales amenazas para las vicuñas en toda su área de distribución (Argentina, Bolivia, Chile, Perú y Ecuador) son: pérdida de hábitat, turismo, agricultura y ganadería de pequeña escala, explotación minera, apertura de caminos, cacería, explotación de agua, enfermedades nativas y cambio climático; clasificándola con un grado de amenaza de "Preocupación Menor"(Acebes et al. 2019). Así también, en Bolivia, el grado de amenaza actual es de "Preocupación Menor"(Aguirre et al. 2009). Sin embargo, la UICN recomienda mejorar los programas y realizar un control más estricto a nivel local, nacional e internacional, debido al incremento de la cacería furtiva y el comercio internacional de esta fibra obtenida de forma ilícita, lo cual amenaza la conservación de la especie (Acebes et al. 2019).

La vicuña es la especie de camélido sudamericano más pequeña, sin existencia de dimorfismo sexual significativo (machos y hembras tienen la misma coloración, aunque el macho puede ser más grande que la hembra). Durante su primer año de vida, las crías se diferencian por su menor tamaño, su pelaje de color más claro y su cabeza más redondeada (Villalba et al. 2010). Las vicuñas australes (*Vicugna vicugna vicugna* Molina, 1782) son ligeramente más grandes, con pelaje blanco en el vientre, que asciende hasta casi la mitad de los laterales del abdomen, y una pechera menos conspicua (Villalba et al. 2010). Algunos estudios han aportado al conocimiento de la biometría de las vicuñas nortinas (*Vicugna vicugna mensalis* Thomas, 1917) en Pampa Galeras y en Huancavelina de Perú (Trejo & Rojas 2009; Ccora 2019), y de las vicuñas australes en la provincia de Jujuy, Argentina (Yacobaccio 2006).

La vicuña es una especie pastoreadora de praderas y bofedales altoandinos, que consume principalmente hojas de gramíneas y ramas de plantas leñosas (Franklin 1982; Villalba et al. 2010). La organización social de esta especie está formada por grupos de machos solteros y grupos familiares (un macho, varias hembras y sus crías). En estos grupos, las hembras pueden permanecer en su grupo familiar cuando el rango de hogar es grande o cambiar de grupo familiar y de macho cuando el rango de hogar es limitado (Arzamendia et al. 2018). El rango de

hogar de las vicuñas en Argentina es de 0,19 a 2,42 km^2 y el desplazamiento diario es de 725 a 822 m (Arzamendia et al. 2018; Karandikar et al. 2023).

Los individuos con acceso a recursos alimenticios de alto valor nutritivo frecuentemente alcanzan un tamaño corporal mayor y una mejor condición corporal que aquellos con nutrición inadecuada, lo cual tiene consecuentes influencias en la supervivencia y reproducción (Parker et al. 2009). Las fuerzas evolutivas tienden a reducir la enfermedad producida por el estrés, así como también la virulencia excesiva de los parásitos; sin embargo, en ciertas condiciones, estos factores pueden interactuar de manera negativa, lo que afecta la supervivencia del hospedador y regula las poblaciones de altas densidades (Beldomenico & Begon 2015). Por ejemplo, se ha observado que la mala condición corporal de topillos *Microtus agrestis* (Linaeus, 1761) en Northumberland, Reino Unido, incrementa la probabilidad de desarrollar monocitosis e incremento de neutrófilos y los predispone a adquirir infecciones (Beldomenico et al. 2008); asimismo, la infección con endoparásitos gastrointestinales afecta de manera negativa la condición corporal de los búfalos africanos (*Syncerus caffe* Sparrman, 1779) (Gorsich et al. 2014).

La condición corporal brinda información sobre la salud y el *fitness* de los animales, y el uso de índices a partir de medidas corporales permite predecirla, por lo tanto, es una herramienta de interés en ecología animal, conservación y manejo de vida silvestre (Peig & Green 2009). También, al ser un indicador ecológico, permite evaluar cambios temporales de la calidad de hábitat de ungulados (Morellet et al. 2007).

Peig & Green (2009) desarrollaron un índice de condición corporal (ICC) con mayor capacidad de predicción, en comparación con mínimos cuadrados ordinarios (OLS) residuales (donde la masa corporal se modela en función de una medida morfométrica lineal que representa el tamaño) en Jakob et al. (1996), empleando, para esto, información disponible de: aves, estornino europeo (*Sturnus vulgaris* Linnaeus, 1758); reptiles, serpiente de agua del norte (*Nerodia sipedon* Linnaeus, 1758); y mamíferos, ardilla de pino amarillo (*Tamias amoenus* Allen, 1890), ratones ciervos (*Peromyscus maniculatus* Wagner, 1845), topillo de pradera (*Microtus pennsylvanicus* Ord, 1815), topillo dorsirrojo (*Clethrionomys gapperi* Vigors, 1830) y ratas de cola peluda (*Neotoma cinerea* Ord, 1815). Recientemente Flores-Saavedra et al. (2018) compararon el ICC en Peig & Green (2009), OLS residual en Jakob et al. (1996) y Análisis de Componente Principal (ACP) (que permite identificar relaciones entre variables cuantitativas y resume la varianza de los datos en gradientes interpretables) y encontraron que los tres métodos pueden utilizarse en esta especie de ungulado, aunque el método OLS residual fue el mejor cuando se deseaba comparar dos períodos del año.

Debido a que OLS residual es más propenso a generar errores de interpretación de tipos I (rechazo de una relación verdadera) y II (aceptación de una relación espuria), presenta un importante riesgo de interpretación errónea de los patrones ecológicos, mientras que el ICC supera gran parte de las limitaciones anteriormente mencionadas (Flores-Saavedra et al. 2018; Green 2001; Peig & Green 2009).

Otros estudios también han utilizado índices de condición corporal para examinar las interacciones parásito-hospedador. Whiteman & Parker (2004) utilizaron OLS residuales para determinar que los halcones de Galápagos (*Buteo galapagoensis* Gould, 1837) territoriales presentaban una condición corporal más alta y una menor carga de piojos (*Colpocephalum turbinatum* Denny, 1842) que los halcones no territoriales de Galápagos. Por otro lado, Rafalinirina et al. (2019) utilizaron un índice de Volumen Corporal resultante del Análisis de Componente principal (residuos de la regresión lineal de la masa corporal en el primer componente principal) en Labocha et al. (2014) y el ICC en Peig & Green (2009) para evaluar los efectos de las infecciones parasitarias y los factores socioecológicos en la condición corporal del lémur ratón rojizo (*Microcebus rufus* Lesson, 1840), en el Parque Nacional Ranomafana, Madagascar, y observaron que la condición corporal disminuía cuando existían más especies de parásitos y que, con ICC mayores, las hembras excretaban más huevos y ooquistes de parásitos en sus heces, lo que sugiere que, en esta especie, la condición corporal puede ser un indicador de riesgo de infección y transmisión endoparasitaria.

Los ácaros *Sarcoptes scabiei* (DeGeer, 1778) son morfológicamente idénticos en todos los mamíferos hospedadores (Buxton 1941) y producen sarna sarcóptica, que es una enfermedad parasitaria importante en los camélidos domésticos (Leguía 1999). Esta enfermedad causa importantes pérdidas económicas a los productores de camélidos sudamericanos domésticos. Por otro lado, puede representar una amenaza emergente para las especies de CSA silvestres, cuyos mecanismos de transmisión entre la vida silvestre y el ganado aún no han sido investigados adecuadamente (Astorga et al. 2018).

La sarna sarcóptica puede tener efectos devastadores en pequeños remanentes de población genética-

mente comprometidas, o en fragmentos de población de especies amenazadas (Pence & Ueckermann 2002), como se observó en carnívoros silvestres *Canis lupus* (Linnaeus, 1758), *Vulpes vulpes* (Linnaeus, 1758), *Canis latrans* (Say, 1823) en los Estados Unidos (Astorga et al. 2018). Esta enfermedad también se ha manifestado con patrones epizootiológicos cíclicos en ungulados silvestres con disminuciones poblacionales iniciales y recuperaciones posteriores a lo largo de décadas (González-Candela et al. 2004; Rossi et al. 1995).

Desde 2017, en el Parque Nacional San Guillermo, Argentina, un brote de sarna sarcóptica disminuyó las poblaciones de vicuñas y guanacos (*Lama guanicoe* Müller, 1776) y las llevó prácticamente a la extinción local en 2019. Se sospecha que el origen del brote fue en 2009 con la introducción de llamas (*Lama glama* Linnaeus, 1758) con signos compatibles de sarna en los alrededores del parque (Ferreyra et al. 2022).

Los objetivos de este estudio, a partir de una muestra de población de vicuñas nortinas, fueron (i) desarrollar un índice de condición corporal (ICC) no invasivo; (ii) caracterizar el ICC, la prevalencia de sarna sarcóptica y la extensión de lesiones cutáneas; y (iii) analizar la combinación de efectos del ICC y de indicadores epidemiológicos de la sarna sarcóptica que se relacionan con las edades de las vicuñas y los sitios de captura de sus hospedadores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio

El Área Natural de Manejo Integrado Nacional (ANMIN) Apolobamba se encuentra ubicada en el extremo oeste del departamento de La Paz (latitud sur 14°40'00" - 15°10'00" y longitud oeste 68°30'00" - 69°20'00"), abarca las provincias Bautista Saavedra, Franz Tamayo y Larecaja, y forma parte de los municipios de Pelechuco, Curva, Charazani y Mapiri. Además de tener posición fronteriza con Perú (SERNAP 2000), Apolobamba se extiende hasta la región montañosa y ocupa la región que atraviesa la cordillera homónima. Las subcuencas más importantes a las que contribuye son las del río Suches, hacia la cuenca endorreica, y las subcuencas de los ríos Camata, Yuyo, Mapiri y Tuichi hacia la cuenca amazónica (SERNAP 2016). El hábitat de las vicuñas de esta área protegida se encuentra en la ecorregión de puna norteña, con temperaturas de 0 a 9 °C y una precipitación anual entre 500 y 1.600 mm (Ibisch & Mérida 2003).

La vegetación del piso altoandino se caracteriza por ser una pradera de bajo porte, conformada por gramíneas duras y silificadas, como *Festuca dolichophylla* (Presl, 1830), *Stipa ichu* (Ruiz & Pav, 1798), *Calamagrostis* spp. y plantas arrosetadas, rastreras y en cojines compactos, como Kausillu (*Hypochaeris* spp.), wikumilla (*Lachemilla* spp.), *Pycnophyllum* spp., yareta (*Azorella* spp.), crespillo (*Aciachne pulvinata* Benth, 1362) y pulvínulos de bofedales, como *Distichia muscoides* (Nees & Meyen, 1843), *Plantago tubulosa* (Decne, 1852) y *Oxychloe andina* (Phil, 1860), además de juncáceas y cyperáceas (SERNAP 2000).

Las especies de mamíferos más características del piso altoandino son la vicuña (*V. vicugna*), el venado andino (*Hippocamelus antisensis* d'Orbigny, 1834), el gato andino (*Leopardus jacobita* Cornalia, 1865) y el puma (*Puma concolor* Linnaeus, 1771) (SERNAP 2000). Asimismo, de acuerdo con el último censo ganadero de 2008, se contabilizaron 100.000 alpacas y 8.000 ovejas (SERNAP 2008).

Trabajo de campo

El presente estudio fue realizado entre el 27 de octubre y el 11 de noviembre de 2018 en seis localidades del ANMIN Apolobamba: Cañuhuma-Chuaña (15°1'48.40"S; 69°6'18.31"O), Nube Pampa-Yanarico (14°55'7.67"S; 69°14'9.42"O), Plan Aeropuerto (15°2'24.52"S; 69°13'44.61"O), Puyo Puyo (15°0'10.52"S; 69°10'45.45"O), Ucha Ucha-Collpani (15°7'22.88"S; 69°12'10.15"O) y Ucha Ucha-Mojonkoll'o (15°4'30.33"S; 69°14'6.69"O). Esto de acuerdo con protocolos de manejo y bienestar animal (Villalba 2008).

Los datos biométricos obtenidos de las vicuñas fueron: peso vivo en kg (báscula digital OCS-L; Klau), longitud interna del miembro posterior derecho en cm (distancia desde el extremo distal del fémur hasta la punta de los dedos, incluyendo las uñas, Yacobaccio 2006) y longitud externa del miembro posterior derecho en cm (distancia desde el borde extremo distal del hueso calcáneo, hasta el borde inicial de las almohadillas podales, en su cara lateral). Ambas medidas se tomaron con cinta métrica.

Las edades aproximadas de los individuos se estimaron de acuerdo con Yacobaccio (2006) y se clasificaron como individuos menores de un año (2 a 11 meses de vida), de uno a dos años (12 a 23 meses de vida) y mayores de dos años (igual o mayor a 24 meses de vida).

Las muestras de las lesiones cutáneas de la sarna se obtuvieron raspando los bordes alopécicos con hojas de bisturí, hasta conseguir un ligero sangrado. Cada muestra obtenida se colocó en una botella de plástico hermética con conservante etanol de 75 %, se etiquetó (código, fecha, localidad) y almacenó hasta realizar los análisis de laboratorio. Para estimar la extensión de las lesiones corporales como porcentaje (%) se utilizaron formularios estándar para cada individuo afectado, y se marcaron las zonas afectadas en esquemas corporales lateral derecho, lateral izquierdo y ventral (MMAyA 2021a).

Las autorizaciones para la captura y toma de muestras biológicas, precautelando el bienestar animal, fueron otorgadas por la autoridad ambiental competente nacional: MMAyA-VMABCCGDF-DGBAP N°354/2014 y MMAyA-VMABCCGDF-DGBAP N°355/2014.

Análisis de laboratorio

Los raspados de las lesiones de sarna se maceraron en hidróxido de potasio (KOH) al 10 % durante 24 horas y luego se concentraron por centrifugación (1.500 rpm, Mobilespin, Vulcon Technologies, EE. UU.) durante 5 minutos. El KOH fue decantado y sustituido por etanol al 75 %, y todo el procedimiento se repitió dos veces. Finalmente, con una pipeta de transferencia, se colocó una gota de alcohol con sedimento resultante entre un portaobjetos y un cubreobjetos y se observó con un microscopio óptico, empleando

oculares de 10X y objetivos de 10X a 40X (Olympus, Modelo CX31RBSFA, Olympus Corporation, Filipinas).

El diagnóstico morfológico de los ácaros se realizó siguiendo bibliografía específica (Buxton 1941; Fowler 1998; Leguía 1999; Soulsby 1987). Estos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de la *Wildlife Conservation Society*, en La Paz, Bolivia.

Análisis estadístico

A. Obtención del índice de condición corporal

A las biometrías obtenidas, el peso en kg, la longitud interna del miembro posterior derecho en cm y la longitud externa del miembro posterior derecho en cm, se aplicaron estadísticas de resumen (suma, promedio y error estándar) para caracterizar la distribución de datos de acuerdo con edades y sitios de captura de vicuñas.

Para elegir la mejor combinación entre el peso y otra biometría que se utilizaría en la obtención del Índice de Condición Corporal (ICC) en vicuñas nortinas, se exploraron regresiones lineales de estas variables previamente transformadas en logaritmos naturales (LogNat), evaluando la significancia (P <0,05; 95 % de confianza) de la proporción e intercepto, la significancia de ANOVA (P <0,05; 95 % de confianza) y la correlación de Pearson más cercana al valor 1 (100 %) utilizando R cuadrado (R^2).

Se obtuvo el índice de condición corporal (ICC), de acuerdo con Peig & Green (2009), según la siguiente fórmula:

$$\widehat{M}_i = M_i \left[\frac{L_0}{L_i}\right]^{bSMA}$$

Dónde Mi y Li corresponden a la masa corporal y la medición lineal de la longitud interna del miembro posterior derecho en cm y longitud externa del miembro posterior derecho en cm del individuo i, respectivamente; el bSMA es el exponente de escala estimada por la regresión SMA (eje mayor estandarizado) de la M en L; Lo es el valor promedio de la población estudiada; Y i es el predictor de la masa corporal para el individuo i cuando la medición lineal del cuerpo está estandarizada a Lo.

A los valores obtenidos del ICC se aplicaron estadísticas de resumen (suma, promedio y error estándar), para caracterizar la distribución de datos de acuerdo con edades y sitios de captura de vicuñas. Para la comparación de promedios, se aplicó ANOVA de una vía y la prueba *Post Hoc* con *HSD Tukey*, ambos estadísticos con 95 % de confianza.

B. Obtención de índices epidemiológicos

Se obtuvo la prevalencia (%, es el número de hospedadores infectados por una especie de parásito en particular, dividido entre el número total de hospedadores examinados según Bush et al. 1997) de sarna, que se comparó mediante la prueba Chi cuadrado de Pearson, de acuerdo con edades y sitios de captura de hospedadores. Se identificaron las edades y sitios de captura donde se registraron los porcentajes (%) de lesiones corporales por sarna.

C. Modelos para predecir las edades de vicuñas y localidades más afectadas por sarna

Se realizaron modelos lineales generalizados (MLG) utilizando distribución normal, de Poisson con enlace logarítmico y binomial negativo con enlace logarítmico para determinar el mejor ajuste a los datos del modelo y, posteriormente, se eligió el menor valor del Criterio de Información de Akaike Corregido (AICC) para muestras finitas.

Se generaron modelos basados en variables dependientes de la edad y de los sitios de captura de hospedadores, utilizando las variables predictivas: presencia de sarna, % de lesiones corporales por sarna en los ejemplares y sus combinaciones con el ICC. El modelo ajustado se comparó con el modelo de intersección utilizando la razón de verosimilitud Chi-cuadrado y la bondad de ajuste con la menor desviación o disminución en la sobredispersión. Los MLG con variables dependientes de la edad y del sitio de captura de vicuñas presentaron significancias globales de modelos para las distribuciones normales, descartando las otras distribuciones no significativas (Tabla S1).

Después de establecer el MLG, se evaluaron los efectos predictivos mediante el Chi cuadrado de Wald. Si no se encontraban efectos predictivos significativos, el modelo se reducía a los efectos que sí fueran significativos. Las reducciones del modelo se evaluaron utilizando el AICC. Los análisis estadísticos se realizaron en SPSS versión 25 (SPSS Inc., IBM Company Product, Chicago, Illinois) con P <0,05 y 95 % de confianza.

Todos los datos fueron registrados y organizados en Excel 2016 MSO y los análisis estadísticos fueron realizados en el software SPSS versión 25.

RESULTADOS

En el Área Natural de Manejo Integrado Nacional Apolobamba se capturon 92 vicuñas nortinas.

Condición corporal de vicuñas según edades y sitios de captura

Las vicuñas presentaron un peso promedio de 34,35 kg (rango = 18,00-58,00 kg; ES ± 1,08) (n = 81), un promedio de longitud interna del miembro posterior derecho de 58,15 cm (rango = 44,00-67,00 kg; ES ± 0,46) (n = 80) y un promedio de longitud externa del miembro posterior derecho de 30,78 cm (rango = 24,00-39,50 kg; ES ± 0,31) (n = 79). En la **Tabla** 1 se detallan las biometrías de las vicuñas según las edades.

Las regresiones lineales a partir de logaritmos naturales del peso y las biometrías obtenidas presentaron mayor correlación para la longitud interna del miembro posterior derecho (R^2 = 27 %; ANOVA: 32,057, P <0,001; Intercepto de *ratio* = 0,000) (**Fig**. 1a), en comparación con la longitud externa del miembro posterior derecho (R^2 = 0,6 %; ANOVA: 5,834, P = 0,081; Intercepto de *ratio* = 0,018) (**Fig**. 1b).

El ICC de vicuñas nortinas (n = 80) entre las tres categorías de edades presentó diferencias significativas (ANOVA = 28,467, P <0,001) y la prueba *post hoc HSD Tukey* constató diferencias entre todos los pares de edades (**Tabla** 2 y **Fig**. 2a).

Al evaluar el ICC de vicuñas nortinas (n = 80) capturadas en seis sitios, se presentaron diferencias significativas (ANOVA = 7,235, P <0,001) y la prueba

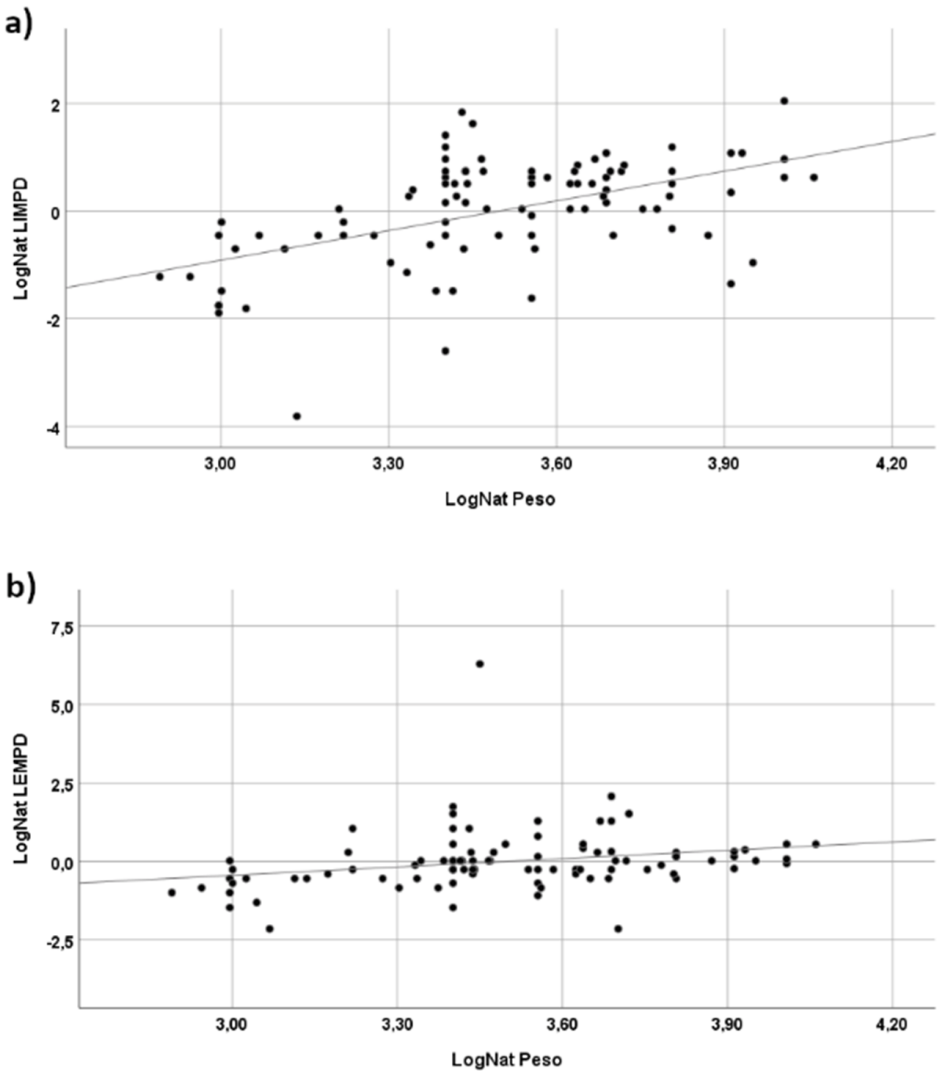

Fig. 1. Regresiones lineales de variables biométricas transformadas en logaritmos naturales (LogNat) de vicuñas nortinas del ANMIN Apolobamba, año 2018. a) Peso * longitud interna del miembro posterior derecho (LIMPD), y = -6,42+1,84*x; b) Peso * Longitud externa del miembro posterior derecho (LEMPD), y = -3,09+0,88*x.

post hoc HSD Tukey confirmó que el ICC promedio de las vicuñas de Plan Aeropuerto fue significativamente mayor que el resto de los sitios de captura (**Tabla** 3 y **Fig**. 2b).

Sarna en vicuñas

La prevalencia general de sarna sarcóptica en las vicuñas de todos los sitios de captura estudiadas (n = 81) fue baja (6,20 %). La signología de esta enfermedad y la presencia del ácaro se registraron en vicuñas menores de un año (n = 12; 8,30 %) y en individuos de 1-2 años (n = 36; 11,10 %), y no se observaron en mayores de dos años (n = 33; 0 %). No existieron diferencias significativas (X^2 = 3,784; P = 0,151) entre las prevalencias según las categorías de edades evaluadas.

El Modelo Lineal Generalizado (MLG) basado en la edad (**Tabla** 4) reveló significancia con el porcentaje (%) de cobertura de lesiones corporales por *S. scabiei* (F = 28,854; P <0,001), esto se debe a que a medida

Tabla 1

Caracterización de las biometrías obtenidas de acuerdo con las edades de vicuñas nortinas, Bolivia 2018. N: número de animales evaluados; ES: error estándar.

Medida	Edad	<1 año	1-2 años	>2 años	Total
Peso (kg)	N	12	35	33	80
	Promedio	21,37	33,11	40,37	34,35
	Rango	18,00-31,20	21,50-55,00	27,20-58,00	18,00-58,00
	ES ±	1,07	1,28	1,46	1,08
Longitud interna del miembro posterior derecho (cm)	N	12	35	33	80
	Promedio	53,78	58,80	59,05	58,15
	Rango	50,50-60,00	44,00-67,00	52,00-62,50	44,00-67,00
	ES ±	0,87	0,76	0,49	0,46
Longitud externa del miembro posterior derecho (cm)	N	12	34	33	79
	Promedio	28,50	30,87	31,52	30,78
	Rango	26,00-31,00	24,00-36,00	24,00-39,50	24,00-39,50
	ES ±	0,43	0,42	0,54	0,31

Tabla 2

Caracterización del ICC obtenido de acuerdo con las edades de vicuñas nortinas, Bolivia 2018. ICC: índice de Condición Corporal; N: número de animales evaluados; ES: error estándar; F: valor estadístico; P: probabilístico; estadísticos: ANOVA de una vía y prueba *Post Hoc* con *HSD Tukey* con significancia entre todas las edades, ambos estadísticos con 95 % de confianza.

	ICC Vicuñas nortinas (N = 80)					
Edad	<1 año	1-2 años	>2 años	Total	F	P
N	12	35	33	80	28,465	0,000
Media	20,81	33,37	40,66	34,49		
Rango	17,40-31,60	20,72-58,08	26,48-58,93	17,40-58,93		
ES ±	1,16	1,39	1,49	1,15		

Tabla 3

Caracterización del ICC obtenido de acuerdo con los sitios de captura de vicuñas nortinas, Bolivia 2018. ICC: Índice de Condición Corporal; N: número de animales evaluados; ES: error estándar; F: valor estadístico; P: probabilístico; Estadísticos: ANOVA de una vía y prueba *Post Hoc* con *HSD Tukey*, con significancia entre sitios de captura, ambos estadísticos con 95 % de confianza.

	ICC Vicuñas nortinas (N = 80)								
Sitio	Puyo Puyo	Plan Aeropuerto	Ucha Ucha-Collpani	Ucha Ucha-Mojonkoll'o	Nube Pampa-Yanarico	Cañuhuma-Chuaña	Total	F	P
N	9	20	7	22	21	12	91	7,235	0,000
Media	32,10	44,10	31,64	29,30	32,73	33,69	34,38		
Rango	24,84-44,56	17,40-58,93	28,31-35,45	18,98-47,37	22,05-45,09	18,37-42,23	17,40-58,96		
ES ±	1,89	2,55	0,81	2,13	1,45	1,81	1,04		

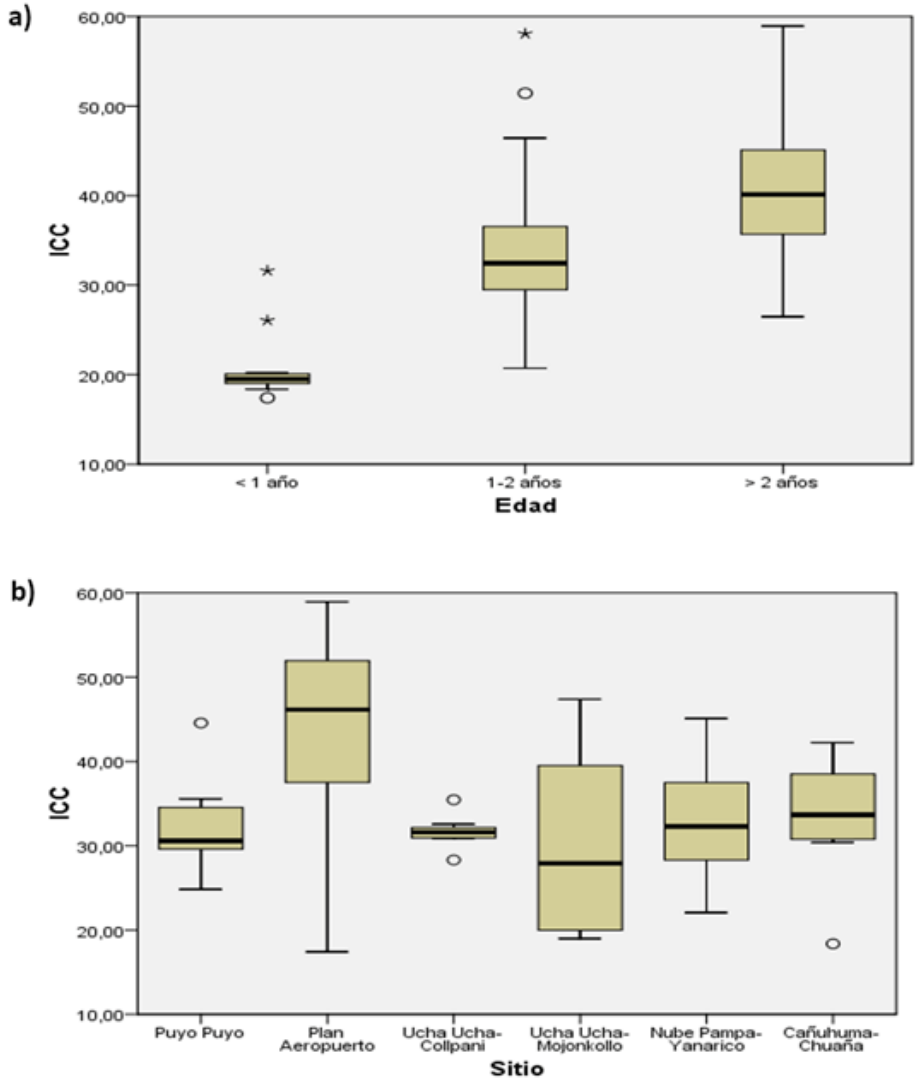

Fig. 2. Caracterización de los valores poblacionales del ICC: a) en vicuñas de tres edades, se observa significancia entre todas las ellas (ANOVA: F = 28,465; P <0,001; *Post Hoc HSD Tukey*); b) en seis sitios de captura de vicuñas, con significancia entre Plan Aeropuerto y todos los demás sitios (ANOVA: F = 7,234; P <0,001; *Post Hoc HSD Tukey*).

que incrementó la edad de las vicuñas, disminuyó la gravedad de las lesiones, y se observó menor cobertura de lesiones en la piel (<1 año, 40 %; 1-2 años, 5 a 10 %; >2 años, 0 %). A su vez, la edad también reveló significancia con el ICC (F = 43,925; P <0,001), aunque no se detectó relación entre el ICC y la presencia de sarna ni con la extensión de lesiones corporales por *S. scabiei*.

Sarna en sitios de captura de vicuñas

La prevalencia (%) de sarna sarcóptica en vicuñas, en el conjunto de los sitios de captura (n = 92) fue baja (8,70 %); en cada sitio se registraron los siguientes valores: Cañuhuma-Chuaña (n = 13; 0 %); Nube Pampa-Yanarico (n = 21, 4,80 %); Plan Aeropuerto (n = 20, 5 %); Ucha Ucha-Mojonkoll´o (n = 22, 9,10 %); Puyo Puyo (n = 9, 22,20 %) y Ucha Ucha-Collpani (n = 7, 28,60 %). No existieron diferencias significativas

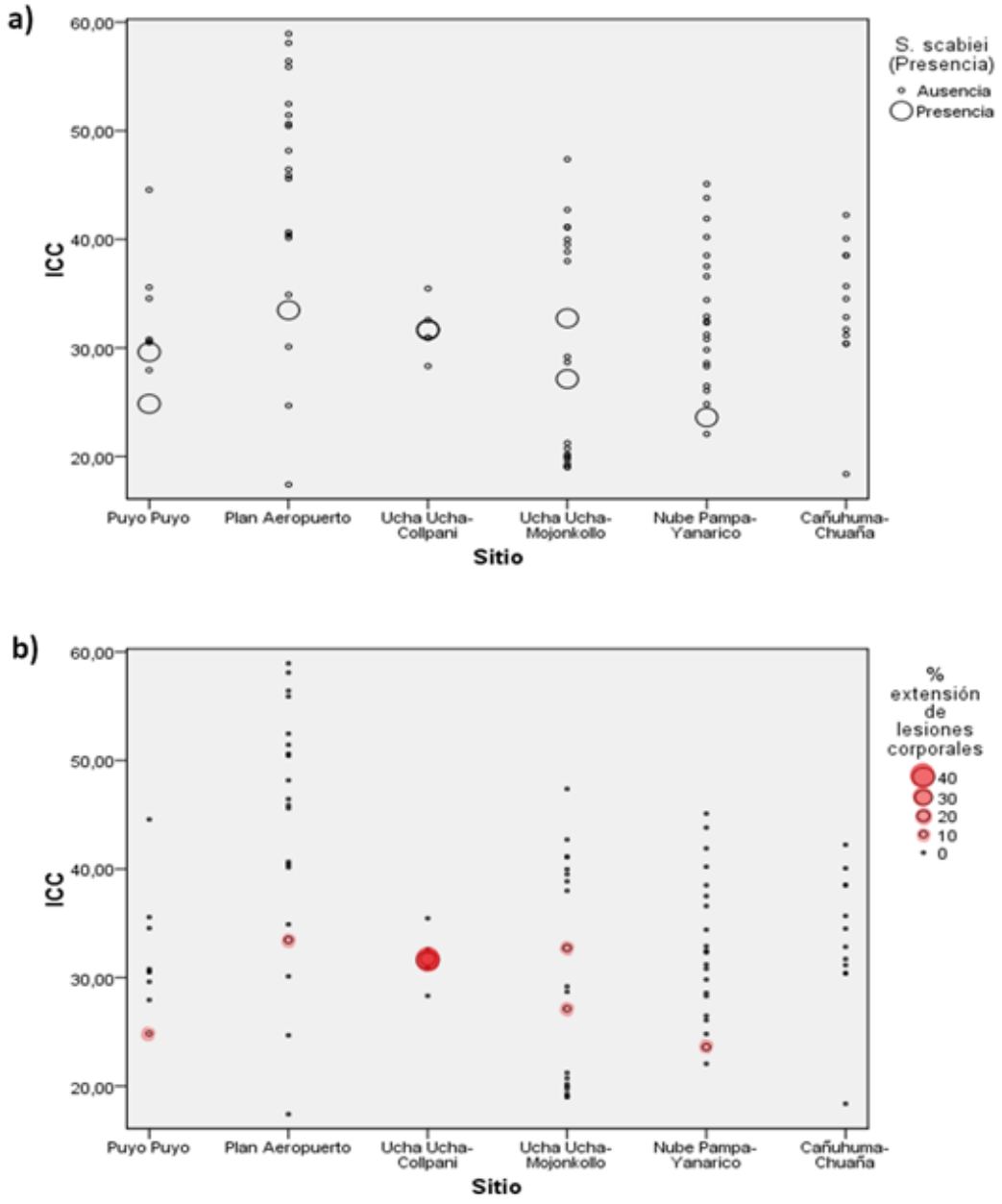

Fig. 3. Representación del modelo lineal generalizado (MLG) combinando: a) sitios de captura de vicuñas, presencia de sarna sarcóptica y el ICC (F = 40,707; P <0,001); b) sitios de captura de vicuñas, porcentaje (%) de cobertura de lesiones corporales por *Sarcoptes scabiei* y el ICC (F = 77,330; P <0,001).

(X^2 = 7,553; P = 0,183) entre sitios con registro de sarna sarcóptica.

El Modelo Lineal Generalizado (MLG) con variable dependiente de sitios de captura (**Tabla** 5) tuvo significancia con la presencia de sarna sarcóptica (F = 51,740; P <0,001), con las mayores prevalencias en Puyo Puyo (22,20 %) y Ucha Ucha-Collpani (28,60 %). Además, se observó significancia con el porcentaje

Tabla 4

Modelos lineales generalizados (MLG) utilizando distribución normal, con la edad como variable dependiente, determinando predictores de sarna sarcóptica (*Sarcoptes scabiei*) y sus combinaciones con la condición corporal (ICC) en vicuñas nortinas, Bolivia 2018. F: valor estadístico; gl: grados de libertad; P: probabilístico. AICC: Criterio de Información de Akaike Corregido.

Variable dependiente: edad	Modelo completo (AICC = 138,644)		
Estadísticas	F	gl	P
Predictores			
Intercepto	40,709	1	0,000
Presencia *S. scabiei*	0,005	1	0,942
% cobertura de lesiones corporales *S. scabiei*	73.872.360.501,503	1	0,000
ICC	198,883	1	0,000
Presencia *S. scabiei* * ICC	0,623	1	0,430
% cobertura de lesiones corporales *S. scabiei* * ICC	-	-	-
Variable dependiente: edad	Modelo reducido (AICC = 132,688)		
Estadísticas	F	gl	P
Predictores			
Intercepto	11,421	1	0,001
% cobertura de lesiones corporales *S. scabiei*	28,854	1	0,000
ICC	43,925	1	0,000

(%) de cobertura de lesiones corporales por *S. scabiei* (F = 80,641; P <0,001), lo que indica que Ucha Ucha-Collpani tenía los individuos más afectados (25 y 40 % de cobertura afectada), en comparación a las demás poblaciones (5 a 10 % de cobertura afectada). Se evidenció significancia mediante el ICC (F = 33,696; P <0,001), lo que indica que Plan Aeropuerto presentó el mayor promedio (44,10), en comparación a los demás sitios de captura (29,30 a 33,69).

También, mediante el análisis combinado de presencia de sarna sarcóptica y el ICC (F = 40,707; P <0,001), se observó la presencia del ácaro en vicuñas con condiciones corporales por debajo del valor 40 (**Fig**. 3a). Asimismo, mediante la combinación de porcentaje (%) de cobertura de lesiones corporales por *S. scabiei* y el ICC (F = 77,330; P <0,001), en Ucha Ucha-Collpani se observaron vicuñas con la piel más afectada y con condición corporal baja (**Fig**. 3b).

DISCUSIÓN

En este estudio, la mejor combinación de peso y la longitud interna del miembro posterior derecho presentó una correlación del 27 %, considerándose de utilidad para obtener ICC en vicuñas. Sin embargo, se recomienda explorar otras biometrías para encontrar predictores más precisos que los empleados en esta investigación. Anteriormente, Peig & Green (2009), al desarrollar el ICC en las mejores combinaciones entre el peso y otras biometrías de micromamíferos, encontraron que las correlaciones variaban de 29 a 82 %. Flores-Saavedra et al. (2018), al aplicar diferentes índices de condición corporal, encontraron que la mejor combinación entre el peso y la longitud del miembro posterior de ungulados rebecos del pirineo (*R. p. pyrenaica*) arrojó una correlación del 32 %.

La obtención de este ICC de acuerdo con Peig & Green (2009), a partir de regresiones lineales entre los logaritmos naturales del peso y la longitud interna del miembro posterior derecho de vicuñas nortinas, ha permitido analizar su variación de acuerdo con la edad y los sitios de captura de los animales. Además, al integrarse con indicadores epidemiológicos de la sarna sarcóptica, contribuye a aumentar la comprensión de aspectos ecoepidemiológicos de esta enfermedad en las vicuñas estudiadas, con potencial aplicación en guanacos (*Lama guanicoe*).

Condición corporal de las vicuñas según las edades y los sitios de captura

En vicuñas nortinas adultas de Perú se registró un peso promedio de 39,30 kg y en vicuñas juveniles el peso promedio fue de 37,91 kg (Ccora 2019), ambos muy similares entre sí. En este estudio, las vicuñas de uno a dos años de vida presentaron un peso promedio (33,37 kg) ligeramente menor, mientras que las vicuñas mayores de dos años presentaron un peso promedio (40,66 kg) superior a los informados por anteriores autores. Estas diferencias podrían explicarse por variaciones en los instrumentos utilizados en cada estudio y en los métodos de estimación

Tabla 5

Modelos lineales generalizados (MLG) utilizando distribución normal, con sitios de captura como variable dependiente, determinando predictores de sarna sarcóptica (*Sarcoptes scabiei*) y sus combinaciones con la condición corporal (ICC) en vicuñas nortinas, Bolivia 2018. F: valor estadístico; gl: grados de libertad; P: probabilístico. AICC: Criterio de Información de Akaike Corregido.

Variable dependiente: Sitio	Modelo completo (AICC = 341,384)		
Estadísticas	F	gl	P
Predictores			
Intercepto	23,417	1	0,000
Presencia *S. scabiei*	51,740	1	0,000
% cobertura de lesiones corporales *S. scabiei*	80,641	1	0,000
ICC	33,696	1	0,000
Presencia *S. scabiei* * ICC	40,707	1	0,000
% cobertura de lesiones corporales *S. scabiei* * ICC	77,330	1	0,000

de edades. De acuerdo con Ccora (2019), en vicuñas nortinas de Perú existen diferencias significativas entre individuos juveniles y adultos, dado que el peso se incrementa con la edad. De forma similar, los resultados de este estudio presentan esa tendencia.

La condición general de salud es la energía capital acumulada en el cuerpo de los animales como resultado de la alimentación y el gasto energético, que se relaciona, asimismo, con la susceptibilidad a infecciones parasitarias (Beldomenico et al. 2008; Peig & Green 2009; Gorsich et al. 2014).

La medición de la condición corporal en la fauna puede requerir comparaciones con índices corporales destructivos, como la composición corporal (% de grasa, % de tejido deshidratado y % de agua) en pequeños mamíferos, aves y reptiles (Peig & Green 2009), y del porcentaje (%) de grasa perirenal en ungulados (Finger et al. 1981; Flores-Saavedra et al. 2018). Ante la imposibilidad de realizar necropsias de vicuñas, debido a que el manejo de esta especie en Bolivia se realiza únicamente en vida libre (MMAyA 2021a), con la liberación de los animales capturados no se realizó una comparación similar. Aunque se necesitan estudios que comparen el ICC no destructivo con los métodos tradicionales en ungulados, se considera que los valores obtenidos representan una aproximación al estado nutricional y al estado general de vicuñas nortinas estudiadas. Las marcadas diferencias observadas de la condición corporal entre edades de vicuñas nortinas se debería a características propias de la edad y la especie (Yacobaccio 2006), y a las características propias de cada población sometida a diferentes factores ecológicos y antropogénicos.

La variación en los recursos alimenticios es un factor clave en la dinámica poblacional de ungulados, como se evidenció con impalas (*Aepyceros melampus* Lichtenstein, 1812) de Zimbabue, cuya condición corporal mejora cuando la densidad poblacional disminuye con el tiempo. Por lo tanto, se infiere que la CC representa un indicador ecológico de la calidad del hábitat (Gaidet & Gaillard 2008; Morellet et al. 2007). En el norte de Chile, la precipitación pluvial y la productividad primaria vegetal influyen directamente en la capacidad de carga del hábitat de las vicuñas (Shaw et al. 2012), lo que indica que los recursos disponibles limitan el tamaño poblacional, y que la oferta de alimentos más nutritivos, como los bofedales, afecta significativamente la distribución espacial de la especie (Shaw et al. 2012). Por otro lado, en Jujuy, Argentina, otro estudio determinó que la distribución espacial de las vicuñas estuvo influenciada por la presencia de ganado, como llamas, ovinos y burros (Rojo et al. 2012).

Para evaluar la relación entre la condición corporal y la calidad del hábitat, es importante seleccionar una medida no invasiva que capture la variabilidad interindividual, con pocas mediciones y que sea sensible a cambios en la disponibilidad de recursos (Taillon et al. 2011). En Apolobamba existen comunidades indígenas que han mantenido e incrementado la ganadería tradicional (alpacas y llamas), mientras que las poblaciones de vicuñas se vieron disminuidas debido a la falta de forraje de calidad. En otras comunidades de la misma región con mayor actividad minera y menor actividad ganadera, las poblaciones de vicuñas se incrementaron y han generado nuevos retos para la gestión sostenible de los pastizales y mejor calidad de vida de las comunidades indígenas (Sandoval-Calderón et al. 2024). En este estudio encontramos diferencias significativas en la condición corporal de vicuñas según las localidades estudiadas:

los individuos de Plan Aeropuerto presentaron una mejor condición corporal, probablemente debido a una mayor disponibilidad de recursos; mientras que en Ucha Ucha-Mojonkoll'o mostraron una menor condición corporal, posiblemente debido a la disminución de la calidad alimentaria (Taillon et al. 2011). En este contexto, este índice podría tener potencialidad como un indicador útil de la calidad del hábitat compartido con la ganadería doméstica.

Sarna en vicuñas

La existencia o no de factores de riesgo intraespecíficos para la presentación de sarna sarcóptica podría estar relacionada con las características de la respuesta inmune de cada especie hospedadora (Astorga et al. 2018). El tamaño del grupo, la edad, el sexo y el color del pelaje en relación con la sarna sarcóptica no son factores de riesgo para los lobos (*C. lupus*) en el Parque Nacional de Yellowstone, EE. UU. (Almberg et al. 2015). En rebecos cantábricos (*Rupicapra pyrineica parva* Cabrera, 1911) del noroeste de España no se encontraron diferencias en la prevalencia según la edad y el sexo (Fernández-Morán et al. 1997). Entre los ovinos de Berbería (*Ammotragus lervia* Pallas, 1777) del Parque Regional de Sierra Espuña (España), las hembras y machos adultos presentaron mayores prevalencias que las crías (González-Candela et al. 2004).

Si bien la prevalencia de sarna sarcóptica en las vicuñas nortinas de este estudio fue baja y no presentó diferencias significativas entre edades (endemismo), utilizando modelos lineales generalizados (MLG), los individuos menores de un año tenían un mayor riesgo de desarrollar extensas lesiones de sarna sarcóptica en la piel, a diferencia de las categorías de mayor edad, posiblemente porque el desarrollo de inmunidad sea una respuesta a la experiencia adquirida frente a los parásitos (Wilson et al. 2002). En otro contexto de brote epidemiológico, como se ha mencionado antes, cuando esta enfermedad ingresó por primera vez a poblaciones de camélidos sudamericanos silvestres en el Parque Nacional San Guillermo de Argentina se observó un descenso en las densidades de vicuñas y guanacos del 68 y 77 %, respectivamente, durante un año de monitoreo realizado mediante transectos. Al cabo de dos años, ambas especies estaban prácticamente extintas en este parque (Ferreyra et al. 2022).

Sarna en los sitios de captura de vicuñas

En una revisión sobre sarna sarcóptica diagnosticada en vicuñas vivas se informaron las siguientes prevalencias: en Argentina, en la provincia Jujuy se registró el 0,9 % en 2005. En Bolivia, en la provincia Franz Tamayo, se informaron 7,7 y 38,9 % en 2006 y 2013, respectivamente; en Ladislao Cabrera fue del 30,8 % en 2013, en Modesto Omiste se registró el 5,1 % en 2018, y en Sajama se informó un 3,2 % en 2013. En Perú, en las provincias Andahuaylas, Aymaraes y Yauyos fue del 16, 9 %, 0,3 %, 37,4 %, respectivamente, en 2015, en Lucanas fue del 4 %, 1,7 %, 5-36,3 %, 2,4-3,1 %, 1,7-3,4 % en 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017, respectivamente. Finalmente, en Apúrimac, Junin, y Puno fue del 64,2 %, en 2018 (Martin et al. 2023).

Anteriormente, en el ANMIN Apolobamba se registraron prevalencias de 5,6 y 17,5 % para sarna sarcóptica en vicuñas (Beltrán-Saavedra et al. 2011; Ruiz 2016), mientras que en el muestreo de este estudio (2018) la prevalencia fue del 8,7 %, y se presentó en cinco de los seis sitios de captura. De acuerdo con el MLG, las vicuñas de Ucha Ucha-Collpani se diferenciaron de las de otros sitios de captura de vicuñas por una mayor prevalencia de sarna sarcóptica, y presentaron individuos con lesiones cutáneas más extensas y una baja condición corporal poblacional. En contraste, en Plan Aeropuerto no se registraron casos de sarna y las vicuñas tuvieron la mejor condición corporal. Estas diferencias, que sugieren un escenario más adverso en Ucha Ucha-Collpani que en Plan Aeropuerto, podrían estar relacionadas con factores ecológicos y antropogénicos, como la sobrecarga animal que provoca un menor acceso de vicuñas a bofedales, lo que ocasiona pérdida de la calidad nutricional y podría promover la disminución de la densidad poblacional.

Ruiz (2016) indican que, para el manejo adaptativo de las poblaciones de grandes herbívoros, como en el caso del corzo (*Capreolus capreolus* Linnaeus, 1758) en Francia, se requiere información clave sobre la abundancia y la calidad del hábitat. Actualmente, las poblaciones de vicuña dentro de las áreas protegidas bolivianas son monitoreadas a través de censos directos (Villalba 2008), pero no se dispone de información relacionada con la calidad del hábitat ni con el estado general de los animales. La condición corporal es un indicador ecológico para evaluar cambios temporales en la calidad del hábitat de los ungulados (Morellet et al. 2007); aquí presentamos datos empíricos que indican que las vicuñas con menor condición corporal tienen un mayor riesgo de presentar sarna sarcóptica y mayor gravedad de lesiones cutáneas.

Estos resultados constituyen información relevante para mejorar el manejo adaptativo de la vicuña, considerando la existencia de zonas ganaderas con sobrecarga animal y zonas mineras que han desplazado la ganadería, pero que, a su vez, generan

contaminación ambiental (Sandoval-Calderón et al. 2024). Teniendo en cuenta el aumento en la distribución y prevalencia de la sarna sarcóptica entre poblaciones de camélidos sudamericanos silvestres, se recomienda incorporar indicadores ecológicos y epidemiológicos en las actividades de captura y esquila silvestre para: (a) monitorear la variabilidad de la condición corporal considerada saludable y su cambio a través del tiempo, y (b) monitorear indicadores epidemiológicos de sarna sarcóptica, como la prevalencia y el porcentaje (%) de extensión de lesiones en piel.

CONCLUSIONES

El incremento en los valores biométricos y de la condición corporal en vicuñas nortinas, en función de la edad, concuerdan con patrones de crecimiento y se diferenciaron entre los tres grupos etarios. Las variaciones de valores de algunas biometrías anteriormente informadas en bibliografía científica podrían relacionarse con diferentes condiciones ecológicas y antropogénicas predominantes en cada sitio de estudio.

En las vicuñas evaluadas, la combinación del peso y la longitud interna del miembro posterior derecho constituye un predictor de la condición corporal, según el índice de condición corporal (ICC) de Peig & Green (2009). Este ICC es una herramienta no destructiva para estimar el estado nutricional y la salud general de la población evaluada.

Las condiciones corporales de cada grupo etario y de cada sitio de captura de las vicuñas nortinas podrían estar condicionadas por la carga de animales domésticos y silvestres, y afectar la cantidad y calidad de alimentos. Para que las comunidades manejadoras de vicuñas puedan realizar un mejor aprovechamiento de la fibra de vicuñas en silvestría y de la cría de ganado camélido, se recomienda evaluar el estado de los recursos nutricionales (p. ej., pasturas, bofedales y agua) de los ecosistemas, evitando sobrepasar sus límites de carga animal domésticos-silvestres.

Para las vicuñas nortinas estudiadas, si bien las prevalencias de sarna sarcóptica fueron generalmente bajas, la edad fue un factor de riesgo relevante, ya que los individuos menores de un año presentaron lesiones cutáneas más extensas en comparación con las edades más avanzadas. Por otro lado, las vicuñas de sitios de captura con menor condición corporal mostraron una tendencia a desarrollar sarna sarcóptica, junto con una mayor gravedad de las lesiones cutáneas.

Este estudio puede servir de base para realizar el monitoreo de la condición corporal como un indicador ecológico de la calidad de hábitat, en conjunto con estimaciones de densidad poblacional, con potencial para la toma de medidas oportunas en el manejo de la especie. La combinación de estos indicadores ecológicos y epidemiológicos permite inferir la calidad del hábitat y la salud poblacional, y puede integrarse en el monitoreo de vicuñas en vida libre. Esto fortalecería las estrategias de manejo de la especie en áreas protegidas y en comunidades manejadoras, actores clave de su conservación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al área protegida ANMIN Apolobamba y a la Asociación Regional de Comunidades Manejadoras de Vicuñas de Apolobamba. Este estudio fue financiado por *Wildlife Conservation Society* y la Iniciativa Darwin del Reino Unido (Proyecto: Conservación de la biodiversidad, salud de la vicuña y medios de vida locales en Apolobamba, Bolivia - Ref. DIR25S1 100553). Agradecemos la Dirección General de la Biodiversidad y Áreas Protegidas (DGBAP) y el Instituto de Ecología (IE) por los permisos de investigación otorgados. Agradecemos a dos revisores anónimos y a la editorial por sus aportes para mejorar el presente manuscrito.

LITERATURA CITADA

Acebes, P. et al. 2019. *Vicugna vicugna* (fe de erratas publicada en 2019). Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN, Versión 2019-1. www.iucnredlist.org

Aguirre, L. F., R. Aguayo, J. Balderrama, C. Cortez, T. Tarifa, & O. Rocha. 2009. Libro Rojo de la Fauna Silvestre de Vertebrados de Bolivia. Ministerio del Medio Ambiente y Agua, La Paz, Bolivia.

Almberg, E. S. et al. 2015. Social living mitigates the costs of a chronic illness in a cooperative carnivore. Ecology Letters 18:660-667. https://doi.org/10.1111/ele.12444

Arzamendia, Y., A. E. Carbajo, & B. Vilá. 2018. Social group dynamics and composition of managed wild vicuñas (*Vicugna vicugna vicugna*) in Jujuy, Argentina. Journal of Ethology, 36:125-134. https://doi.org/10.1007/s10164-018-0542-3

Astorga, F. et al. 2018. International meeting on sarcoptic mange in wildlife, June 2018, Blacksburg, Virginia, USA. Parasites & Vectors 11:449. https://doi.org/10.1186/s13071-018-3015-1

Beldomenico, P. M., S. Telfer, S. Gebert, L. Lukomski, M. Bennett, & Y. M. Begon. 2008. Poor condition and infection: a vicious circle in natural populations. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 275:1753-1759.

Beldomenico, P. M., & Y M. Begon. 2015. Stress-host-parasite interactions: a vicious triangle? Revista FAVE. Sección Ciencias veterinarias 14:6-19.

Beltrán-Saavedra, L. F., R. Nallar-Gutiérrez, G. Ayala, J. M. Limachi, & J. L. Gonzales-Rojas. 2011. Estudio sanitario de vicuñas en silvestría del Área Natural de Manejo Integrado Nacional Apolobamba, Bolivia. Ecología en Bolivia 46:14-27. http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/reb/v46n1/a03.pdf

Bush, A. D., K. D. Lafferty, J. M. Lotz, & A. W. Shostak. 1997. Parasitology Meets Ecology on Its Own Terms: Margolis et al. Revisited. The Journal of Parasitology 83:575-583.

Buxton, P. A. 1941. Parasitology of Scabies. British Medical Journal 2:397. https://doi.org/10.1136/bmj.2.4211.397

Ccora, E. et al. 2019. Características biométricas en vicuñas (*Vicugna vicugna mensalis*). Investigación sobre Pequeños Rumiantes, 175:52-56. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.04.002

Fernández-Morán, J. et al. 1997. Epizootiology of sarcoptic mange in a population of cantabrian chamois (*Rupicapra pyrenaica parva*) in Northwestern Spain. Veterinary Parasitology 73:163-171. https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00061-7

Ferreyra, H. D. V. et al. 2022. Sarcoptic mange outbreak decimates south american wild camelid populations in San Guillermo National Park, Argentina. Plos One 17:e0256616. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256616

Finger, S. E., I. L. Brisbin, M. H. Smith, & D. F. Urbston. 1981. Kidney fat as a predictor of body condition in white-tailed deer. The Journal of Wildlife Management 45:964-968.

Flores-Saavedra, W. et al. 2018. Fat reserve assessment in Pyrenean chamois using body measurements. Mammalian Biology 89:79-83. https://doi.org/10.1016/j.mambio.2018.01.007

Fowler, M. E. 1998. Medicine and Surgery of South American camelids: Llama, Alpaca, Vicuna, Guanaco. 2nd edition. Iowa State University Press, Iowa, USA.

Franklin, W. L. 1982. Biology, Ecology, and Relationship to Man of the South American Camelids. Mammalian Biology in South America (M. A. Mares & H. H. Genoway, eds.), 6:457-489.

Gaidet, N., & J. M. Gaillard. 2008. Density-dependent body condition and recruitment in a tropical ungulate. Canadian Journal of Zoology, 86:24-32. https://doi.org/10.1139/Z07-111

González-Candela, M., L. León-Vizcaíno, & M. J. Cubero-Pablo. 2004. Population effects of sarcoptic mange in Barbary sheep (*Ammotragus lervia*) from Sierra Espuña Regional Park, Spain. Journal of Wildlife Diseases 40:456-465. https://doi.org/10.7589/0090-3558-40.3.456

Gorsich, E. E., V. O. Ezenwa, & A. E. Jolles. 2014. Nematode–coccidia parasite co-infections in African buffalo: Epidemiology and associations with host condition and pregnancy. International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife 3:124-134.

Green, A. J. 2001. Mass/length residuals: measures of body condition or generators of spurious results? Ecology 82:1473-1483. https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[1473:MLRMOB]2.0.CO;2

Ibisch, P. L., & G. Mérida. 2003. Biodiversidad: la Riqueza de Bolivia. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Jakob, E. M., S. D. Marshall, & G. W. Uetz. 1996. Estimating fitness: a comparison of body condition indices. Oikos 61-67.

Labocha, M. K., H. Schutz, & J. P. Hayes. 2023. Spatial ecology of the Vicuña (*Lama vicugna*) in a high Andean protected area. Journal of Mammalogy 104:509-518. https://doi.org/10.1093/jmammal/gyad018

Karandikar, H., E. Donadio, J. A. Smith, O. R. Bidder, & A. D. Middleton. 2014. ¿Cuál es el mejor índice de condición corporal? Oikos 123(1):111-119.

Leguía, P. G. 1999. Enfermedades Parasitarias de Camélidos Sudamericanos. Primera Edición. Editorial de Mar, Lima.

Martin, A. et al. 2023. Libro blanco: Abordando los impactos de la sarna sarcóptica en camélidos sudamericanos silvestres a través de un paisaje de mitos y leyendas. Wildlife Conservation Society.

Morellet, N. et al. 2007. Indicators of ecological change: new tools for managing populations of large herbivores. Journal of Applied Ecology 44:634-643. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01307.x

MMAyA, SERNAP & ACOFIV. 2021a. Manual Técnico de Buenas Prácticas de Bienestar Animal y de Medidas Sanitarias en el Aprovechamiento de la Fibra de Vicuñas. Wildlife Conservation Society, La Paz, Bolivia.

MMAyA, SERNAP & ACOFIV. 2021b. Guía de Manejo del Vellón durante la Esquila y Predescerdado de la Fibra de Vicuña para su Comercialización. Wildlife Conservation Society, La Paz, Bolivia.

Parker, K. L., P. S. Barboza, & M. P. Gillingham. 2009. Nutrition integrates environmental responses of ungulates. Functional Ecology 23:57-69. https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01528.x

Pence, D. B., & E. Ueckermann. 2002. Sarcoptic mange in wildlife. Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties 21:385-398. https://sanwildsite.wordpress.com/wp-content/uploads/2005/10/sarcoptic-mange.pdf

Peig, J., & A. J. Green. 2009. New perspectives for estimating body condition from mass/length data: the scaled mass index as an alternative method. Oikos 118:1883-1891. https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2009.17643.x

Rafalinirina, A. H., J. Randrianasy, P. C. Wright, & J. Ratsimbazafy. 2019. Effect of socio-ecological factors and parasite infection on body condition of brown mouse lemur *Microcebus rufus* (Mammalia: Primates: Cheirogaleidae). Journal of Threatened Taxa 11:13632-13643. https://doi.org/10.11609/jott.4799.11.6.13632-13643

Rojo, V., Y. Arzamendia, & B. L. Vilá. 2012. Uso del hábitat por vicuñas (*Vicugna vicugna*) en un sistema agropastoril en Suripujio, Jujuy. Mastozoología Neotropical 19:127-138. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0327-93832012000100011&script=sci_arttext&tlng=pt

Rossi, L., P. G. Meneguz, P. De Martin, & M. Rodolfi. 1995. The epizootiology of sarcoptic mange in chamois, *Rupicapra rupicapra*, from the Italian eastern Alps. Parassitologia 37:233-240. https://europepmc.org/article/med/8778664

Ruiz, C. R. 2016. Identificación y Caracterización de la Presencia de Ectoparásitos y Endoparásitos en Vicuñas (*Vicugna vicugna*) en Comunidades de los Departamentos de La Paz y Oruro. Tesis de Magíster. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Sandoval-Calderón A. P., M. Van kuijk, Y. Hautier, H. Alberto, & P. A. Verweij. 2024. Mining expansion may reduce livestock but facilitate vicuñas recovery in tropical Puna of South America. Frontiers in Conservation Science 5:1405392.

SERNAP (Servicio Nacional de Áreas Protegidas). 2000. Información Técnica del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Bolivia. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación, La Paz, Bolivia.

SERNAP (Servicio Nacional de Áreas Protegidas). 2008. Actualización del Plan de Manejo ANMIN Apolobamba. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, La Paz, Bolivia.

SERNAP (Servicio Nacional de Áreas Protegidas). 2016. Plan de Manejo del Área Natural de Manejo Integrado Nacional Apolobamba 2016-2025. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, La Paz, Bolivia.

Shaw, A. K., J. L. Galaz, & P. A. Marquet. 2012. Population dynamics of the vicuña (*Vicugna vicugna*): density-dependence, rainfall, and spatial distribution. Journal of Mammalogy 93:658-666. https://doi.org/10.1644/11-MAMM-A-257.1

Soulsby, E. J. L. 1987. Parasitología y Enfermedades Parasitarias de los Animales Domésticos. 7a. edición. Nueva editorial Interamericana, SA de CV, México DF, México.

Taillon, J., V. Brodeur, M. Festa-Bianchet, & S. D. Côté. 2011. Variation in body condition of migratory caribou at calving and weaning: Which measures should we use? Ecoscience 18:295-303. https://doi.org/10.2980/18-3-3447

Trejo, W., & E. Rojas. 2009. Estudio tecnológico de la fibra y biometría de la vicuña (*Vicugna vicugna*) de la zona nuclear de Pampa Galera, Lucanas-Ayacucho. Anales Científicos 70:38-44. https://doi.org/10.21704/ac.v70i1.70

Villalba, L. 2008. Protocolo de Buenas Prácticas de Captura, Esquila y Liberación de Vicuñas en Estado Silvestre para la Obtención de Fibra. Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Villalba, M. L., E. Cuéllar, & T. Tarifa. 2010. Camélidos. Distribución, Ecología y Conservación de los Mamíferos

Medianos y Grandes de Bolivia (R. B. Wallace, H. Gómez, Z. Porcel & D. Rumiz, eds.). Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Wilson, K. et al. 2002. Heterogeneities in macroparasite infections: patterns and processes. The Ecology of Wildlife Diseases 44:6-44.

Whiteman, N. K., & P. G. Parker. 2004. Body condition and parasite load predict territory ownership in the Galapagos hawk. The Condor 106:915-921. https://doi.org/10.1093/condor/106.4.915

Yacobaccio, H. D. 2006. Variables morfométricas de vicuñas (*Vicugna vicugna vicugna*) en Cieneguillas, Jujuy. Investigación, Conservación y Manejo de Vicuñas (Vilá, B., ed.). Proyecto MACS, Buenos Aires, Argentina.

MATERIAL SUPLEMENTARIO EN LÍNEA

Suplemento 1

Tabla S1. Evaluación de modelos lineales generalizados (MLG) utilizando distribución normal, distribución de Poisson con función Log link y distribución Binomial negativa con función Log link. Se eligieron modelos con diferencias significativas ($P < 0{,}05$) y se descartaron modelos no significativos ($P \geq 0{,}05$).